



ACTUATE

*Fortbildung für sicheres, wirtschaftliches Fahren
elektrisch betriebener Fahrzeuge
– Straßenbahn –*

www.actuate-ecodriving.eu



Co-funded by the Intelligent Energy Europe
Programme of the European Union

actuate



ACTUATE

ein Projekt zur Optimierung von Fahrverhalten zur Reduzierung des Energieverbrauchs

Im Rahmen des europäisch geförderten Projektes ACTUATE wurden Trainingsprogramme und allgemeine Bildungsmaßnahmen für das wirtschaftliche Fahren elektrisch betriebener Fahrzeuge im ÖPNV entwickelt, getestet und erfolgreich eingeführt.

Durch die Einführung von Fortbildungen für wirtschaftliches Fahren kann das Energieeinsparpotenzial von elektrisch betriebenen Fahrzeugen, wie Straßenbahnen, Hybridbussen oder Oberleitungsbussen, weiter optimiert werden und somit die Wirtschaftlichkeit und die weitere Verbreitung dieser Fahrzeugtypen gefördert werden.

Im Projekt ACTUATE steht der Fahrer als zentraler Stellhebel für eine wirtschaftliche Fahrweise im Mittelpunkt. Begleitende Motivationskampagnen sollen sicherstellen, dass die Fahrer auch langfristig das anwenden, was sie in den Fortbildungen gelernt haben.

Ein Projekt zur Optimierung von Fahrverhalten...

- ▶ für ein sicheres und wirtschaftliches Fahren elektrisch betriebener Fahrzeuge im Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV)
- ▶ für eine Erhöhung der Wirtschaftlichkeit elektrisch betriebener Fahrzeuge im ÖPNV durch
 - Entwicklung und Erprobung von Trainingsprogrammen für sicheres und wirtschaftliches Fahren
 - Motivationskampagnen für Fahrer von Straßenbahnen, Hybridbussen, Oberleitungsbussen

Die vorliegende Trainingsbroschüre wurde für den Fahrzeugtyp Straßenbahn im Rahmen von ACTUATE entwickelt.

INHALT

1	Einleitung	4
1.1	Wirtschaftliches Fahren	5
1.2	Wem nützt das wirtschaftliche Fahren „eco driving“?	6
1.3	Elektrofahrzeuge – ihre Entwicklung und ihre Zukunft	7
2	Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch	8
2.1	Einflussfaktor Mensch	9
2.2	Einflussfaktor Infrastruktur und Topografie	10
2.3	Einflussfaktor Strecken und Fahrzeugwiderstände	11
2.4	Rolle der Fahrgeschwindigkeit	14
3	Fahrzeugsteuerung und Energieversorgung	15
3.1	Fahrzeugsteuerung	15
3.2	Energieversorgung	18
3.3	Energieverbrauchsmessungen	18
3.4	Auswertung der Messergebnisse	20
4	Störungen	24
5	Die Straßenbahnfahrschule	25
6	Eco driving und Fahrplan	27
7	Training	28
8	Schlusswort	30

1 Einleitung

Warum soll man Energie sparen? Energie ist kostbar geworden. Das Erdöl reicht nicht ewig, um daraus Kraftstoff herzustellen. Obwohl durch Katalysatoren, Rußfilter und andere Systeme unsere Kraftfahrzeuge mit Diesel- oder Benzinmotor schon wesentlich schadstoff-ärmer geworden sind als noch vor ein paar Jahren, belasten sie immer noch die Umwelt. Deshalb muss man über Alternativen nachdenken. Eine saubere Alternative ist Strom.

Allerdings gibt es auch hier verschiedene Arten der Erzeugung. Eine Art sind die noch weit verbreiteten Kohlekraftwerke. Doch auch die Kohle reicht nicht ewig, außerdem fallen bei der Stromerzeugung Schadstoffe an, welche die Umwelt belasten. Deshalb wird der Strom in zunehmenden Maß durch umweltfreundliche, erneuerbare Energien, wie zum Beispiel Wind, Sonne oder Wasserkraft, erzeugt. Diese Art der Stromgewinnung ist zu 100 % ökologisch und gewinnt immer mehr an Bedeutung.

Bis allerdings der gesamte Strombedarf mit erneuerbaren Energien gedeckt werden kann, müssen noch eine Menge Probleme gelöst werden. So muss zum einen der erzeugte Strom vom Ort der Erzeugung zum Verbraucher gebracht werden. Dazu ist es notwendig, die Stromnetze entsprechend auszubauen. Und zum anderen wird aber eine stabile Stromversorgung benötigt, da der Wind nicht immer weht und die Sonne nicht immer scheint. Daher stellt auch die Zwischenspeicherung des Stromes eine Herausforderung dar. Noch gibt es nicht genügend Pumpspeicherkraftwerke zur Zwischenspeicherung.

Strom ist ein wertvolles Gut und aus unserem Leben nicht mehr wegzudenken, deshalb müssen wir mit unserem Verhalten im privaten und im öffentlichen Bereich sorgsam mit den vorhandenen Ressourcen umgehen. Dem öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) kommt dabei eine besondere Vorbildrolle zu. Moderne Technik sowie eine wirtschaftliche Fahrweise des Fahrpersonals können einen wesentlichen Beitrag zur Energieeinsparung leisten.

*Alle Schienenbahnen,
die ihre Bremsenergie
zurück ins Netz
speisen, helfen uns,
den Energieverbrauch
zu senken.*

*Eine Straßenbahn vom
Typ NGT 8 vor dem Neuen
Rathaus in Leipzig*



*Der Fahrer
macht den
Unterschied!*

1.1 Wirtschaftliches Fahren

Eine wirtschaftliche Fahrweise lässt sich selbstverständlich nicht nur auf Straßenbahnen, sondern auch auf andere „saubere“ Fahrzeuge, wie Stadtbahnen, U-Bahnen, Oberleitungsbusse, Elektrobusse und auch auf die Technologie der Hybridbusse anwenden. Die Grundsätze für eine optimale Fahrweise müssen lauten:

Sicherheit

*Wirtschaft-
lichkeit*

Pünktlichkeit

*Kunden-
freundlich-
keit*

Doch was heißt das im Detail?

Sicherheit

Die Sicherheit ist oberstes Gebot. Ihr hat sich alles unterzuordnen! Sicherheit kommt vom lateinischen Wort „securitas“, was soviel wie „Fürsorge“ oder „ohne Sorge“ bedeutet. Es bezeichnet einen Zustand, der frei von Gefahren angesehen wird. Die Fahrgäste sollen sich „ohne Sorge“ in eine Bahn des ÖPNV begeben, mit der sie „fürsorglich“ an ihr Ziel gebracht werden. Eine wirtschaftliche Fahrweise bedeutet immer auch vorausschauend zu fahren, das ist das „A und O“ für die Sicherheit im Straßenverkehr.

Wirtschaftlichkeit

Wirtschaftlichkeit ist das allgemeine Maß für Effizienz und für den vernünftigen Umgang mit Ressourcen. Ziel ist also, mit einem möglichst geringen Einsatz von Energie von A nach B zu kommen. Außerdem minimiert man mit einer ausgewogenen, durchdachten, energieeffizienten Fahrweise den Verschleiß an den Fahrzeugen und der Infrastruktur (Gleisanlagen und Fahrleitungsanlagen). Eingesparte Energie ist eingespartes Geld!

Pünktlichkeit

Die Kunden erwarten vom ÖPNV Pünktlichkeit. Es darf keinesfalls zu früh an den Haltestellen abgefahren werden. In U-Bahnsystemen ist die Pünktlichkeit gut einzuhalten, weil die Züge in einem geschlossenen System verkehren, in dem keine anderen Verkehrsteilnehmer „stören“. Bei Straßenbahnen und auch zum Teil bei Stadtbahnen sind Verspätungen bei Fahrten inmitten des Individualverkehrs leider oft nicht zu vermeiden.

*Viele Menschen
vertrauen täglich
dem ÖPNV.*



Pünktlichkeit darf keinesfalls durch verminderte Sicherheit (riskante Fahrweise) erzwungen werden. Eine unüberlegte rasante Fahrweise gefährdet nicht nur die Sicherheit, sondern fördert zudem den Verschleiß an den Fahrzeugen und an der Infrastruktur. Eine wirtschaftliche, vorausschauende Fahrweise ist nicht gleichbedeutend mit einer längeren Fahrtzeit, wie die gemachten Erfahrungen im Praxisteil der Schulungen zum wirtschaftlichen Fahren in den Partnerstädten des ACTUATE-Projektes (z. B. in Brünn, Tschechien, für die Straßenbahn oder in Salzburg, Österreich, für den Oberleitungsbus) belegen können.

Kundenfreundlichkeit

Kundendienst ist ein wichtiges, imagebildendes Instrument für jedes Verkehrsunternehmen. Kundendienst wird oft auch als Service (customer service) bezeichnet. Dabei geht es hier im speziellen Fall, um die Erfüllung der Kundenwünsche bei der Dienstleistung: „Personenbeförderung“.

Dazu kommen Dienstleistungen, wie zum Beispiel einem mobilitätseingeschränkten Fahrgast beim Ein- oder Ausstieg zu helfen oder eine Auskunft zum Fahrpreis und Ähnlichem zu geben. Unsere Kunden wünschen sich kompetente Ansprechpartner und keine gestressten, erschöpften Fahrer, die bei einer Frage gleich mürrisch reagieren. Sie wollen sich sicher (siehe Sicherheit) fühlen. Ein Fahrer, der ausgeglichen und wirtschaftlich fährt, ist weniger gestresst und kann besser auf die Kunden (Fahrgäste) eingehen. Fahrer und Fahrgäste fühlen sich wohler. Ob ein Unternehmen die Wirtschaftlichkeit oder die Pünktlichkeit an zweite Stelle setzt, liegt sicher an dessen Struktur und Verkehrsaufkommen. Dies muss das Unternehmen selbst entscheiden.

Wem nützt das wirtschaftliche Fahren „eco driving“?

Dem Fahrer

Der Fahrer fährt entspannter und er ist weniger gestresst.

Dem Fahrgast

Der Fahrgast fühlt sich sicherer, weil er die Gelassenheit des kompetenten Fahrpersonals durch die vorausschauende und sanftere Fahrweise spürt.

Der Infrastruktur

Die Infrastruktur wird durch die die vorausschauende und sanftere Fahrweise weniger beansprucht, was zum Beispiel zu geringerem Verschleiß an Weichen und Gleiskreuzungen führt. Das spart langfristig erhebliche Kosten für die Infrastruktur.

Dem Fahrzeug

Durch das Ausnutzen des Rollvorganges läuft auch das Fahrzeug ruhiger und wird ebenfalls geschont, zum Beispiel durch geringeren Verschleiß an den Radreifen oder durch geringere Beanspruchung der Regelelektronik (Schleuder- und Gleitschutz).

Dem Unternehmen

Das Unternehmen spart langfristig viel Geld durch geringeren Energieverbrauch, weniger Reparaturen an Fahrzeugen und Infrastruktur und gegebenenfalls sogar weniger Personalkosten, weil mit weniger Stress durch wirtschaftliches Fahren und einer dadurch erhöhten Mitarbeiterzufriedenheit weniger Krankentage zu erwarten sind und somit eine höhere Verfügbarkeit des Personals vorhanden ist.

1.2 Elektrofahrzeuge – ihre Entwicklung und ihre Zukunft

Elektrisch angetriebene Fahrzeuge sind eigentlich älter als mit Kraftstoff angetriebene Autos. Das erste Elektrofahrzeug baute der Franzose M. Gustave Trouvé. Er fuhr bereits 1881 damit durch Paris. Es war ein Dreirad mit Bleiakkumulatoren und einem Elektromotor. Es konnte 12 km/h schnell fahren und hatte eine Reichweite von 14 – 26 km. Das erste deutsche Elektroauto wurde 1888 von der Coburger Maschinenfabrik A. Flocken gebaut.

*„eco driving“:
entspannter und
stressärmer durch
ausgeglichene
Fahrweise*

Erste Oberleitung
von W. v. Siemens



Es war das erste vierrädrige Elektroauto. Das erste Benzinauto wurde 1886 von Carl Benz entwickelt. Auch elektrische Straßenbahnen baut man schon seit 1881. Mit der 1884 von J. C. Henry konstruierten Fahrleitung, die unserer heutigen schon sehr ähnlich war, wurde der Ausbau von Straßenbahnnetzen möglich. Nachdem in den 1950er Jahren die Straßenbahn in vielen Städten Europas durch Busse ersetzt wurde, erlebt sie heute besonders in Frankreich eine Renaissance.

Man hat allgemein die Vorzüge elektrisch betriebener Fahrzeuge erkannt. Sie sind sauberer und leiser als Benzin- oder Dieselfahrzeuge. Durch die neuen Antriebssysteme mit Rekuperationsbremsen (Nutzbremsen = Bremsenergie wird ins Netz zurück gespeist) sind sie auch noch viel effizienter und preiswerter im Betrieb.

Als Massenverkehrsmittel in größeren Städten haben alle Bahnen den Vorteil, dass wesentlich mehr Fahrgäste befördert werden können als mit Bussen. Betreibt man dann noch die Fahrzeuge mit Ökostrom, sind Straßenbahnen, Stadtbahnen und U-Bahnen die saubersten und umweltfreundlichsten Transportmittel.

Wie soll man denn
sonst sparen, wenn
nicht intelligent?

Christiane „Tissy“ Bruns
(Journalistin)

2 Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch

Doch trotz aller bereits erläuterten, allgemeinen Vorteile und modernster Technik, muss man die Bahnen idealerweise auch noch so betreiben, dass sie möglichst wenig Strom verbrauchen. Denn die Herstellung von Strom ist teuer. Die Umstellung auf Ökostrom verursacht nochmals Kosten. Eine wirtschaftliche und energiesparende Fahrweise unterliegt mehreren Einflussfaktoren. Es gibt äußere Faktoren, die vom Fahrpersonal **nicht** beeinflussbar sind. Dazu gehören der Gleiszustand, Zustand der Radreifen, die Verkehrsdichte, die Topografie, der Fahrzeugtyp (Motorleistung), die Besetzung des Fahrzeuges und natürlich, ob das Fahrzeug über eine Rekuperationsbremse verfügt. Allerdings gibt es auch Faktoren, die durchaus vom Fahrpersonal beeinflussbar sind. Dazu gehören die **bewusst energiesparende Fahrweise**, also das Mitdenken, wann das Beschleunigen sinnvoll ist und wann nicht. Dies nennt man ganz einfach **vorausschauende Fahrweise**.

Wir sollten uns beim Fahren gedanklich ständig diese Fragen stellen und auch ehrlich beantworten:

- Ist es sinnvoll, immer die höchste Anfahrbeschleunigung zu wählen, wenn die Schienenverhältnisse nicht optimal sind?
- Spart es wirklich Zeit, wenn ich mit höchstem Sollwert/höchster Anfahrstufe beschleunige, aber dann am gesperrten Signal wieder anhalten muss?
- Muss ich erst hoch beschleunigen, wenn gleich eine Weiche kommt, die ich nur langsam befahren darf?

Wenn wir ehrlich sind, können wir all diese Fragen eindeutig mit **NEIN** beantworten. In Steigungen ist abzuwägen, ob ein Verharren, also mit wenig Strom die Geschwindigkeit halten, zu wählen ist oder ob man lieber abwechselnd beschleunigen und rollen soll. Hierbei sind der Grad der Steigung und die Steuerungstechnik des Fahrzeuges mit in Betracht zu ziehen.

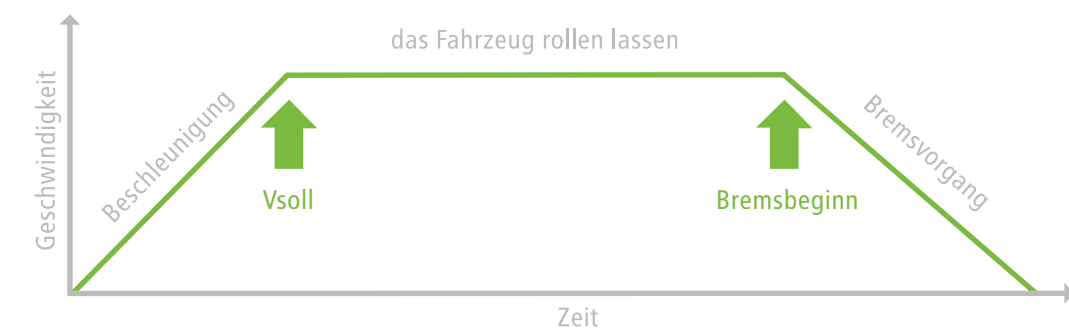
Ein Beispiel für eine effiziente Fahrweise ist: Wenn etwa 30 m nach einer Haltestelle, die man bedient hat, eine Weiche folgt, die nur mit 15 km/h befahren werden darf, ist eine Beschleunigung auf gerade mal ca. 18 km/h (gerade Strecke vorausgesetzt) sinnvoll. Dann lässt man das Fahrzeug über die Weiche rollen und kann dann nach der Weiche den Streckenverhältnissen angepasst beschleunigen. Bei erreichter Geschwindigkeit ist der Rollvorgang nutzen und an der nächsten Haltestelle gleichmäßig zu bremsen.

Blick aus dem Cockpit auf
eine modernisierte Trasse



2.1 Einflussfaktor Mensch

Die ideale Fahrweise



Das Fahrpersonal muss sich bewusst werden, dass eine energiewirtschaftliche und angepasste Fahrweise auch zum eigenen Vorteil dient. Die ideale Fahrkurve in einer Stadt ohne besondere Steigungen und Gefällestrrecken wäre: Eine der Witterung, den Verkehrsbedingungen und Schienenverhältnissen angepasste hohe, aber gleichmäßige Beschleunigung bis zur gewünschten, bzw. erlaubten Höchstgeschwindigkeit wählen, dann das Fahrzeug nur rollen lassen und anschließend gleichmäßig, mit einem längeren Bremsweg, also mittlerem Sollwert/mittlerer Bremsstufe fahrgastfreundlich bis zum Stillstand abzubremsen. Diese Fahrweise gilt sowohl für Fahrzeuge mit, als auch ohne Rekuperationsbremse.

Fahrzeuge mit Rückspeisung bieten den Vorteil, dass bei lang gewähltem Bremsweg auch über eine längere Zeit Energie zurück gespeist wird. Speist ein Fahrzeug Bremsstrom zurück, geht dieser, in den meisten Verkehrsbetrieben, auf die Sammelschiene im Unterwerk und kann von allen Strecken, die von dieser Sammelschiene abgehen, genutzt werden. Dadurch ist es möglich, dass die gewonnene Energie fast zu 90 % von anderen anfahrenen Fahrzeugen wieder genutzt werden kann. Lediglich in den frühen Morgenstunden oder späten Abend-

stunden, wenn der Takt der Fahrzeuge etwas weiter auseinander liegt, kann die Rekuperation nicht so intensiv wieder genutzt werden.

Es gibt jedoch auch bereits Energiespeicher, die in Unterwerken installiert sind, um die zurückgespeiste Energie in den Schwachverkehrszeiten nutzen zu können. Doch ob sich hier Aufwandskosten und Nutzen rechnen, muss vom Unternehmen geprüft werden. Gleiches gilt für Energiespeicher in den Fahrzeugen, die ebenfalls Energie zwischenspeichern können, jedoch zusätzlich die Achslast erhöhen und damit negativ auf die Infrastruktur wirken können.

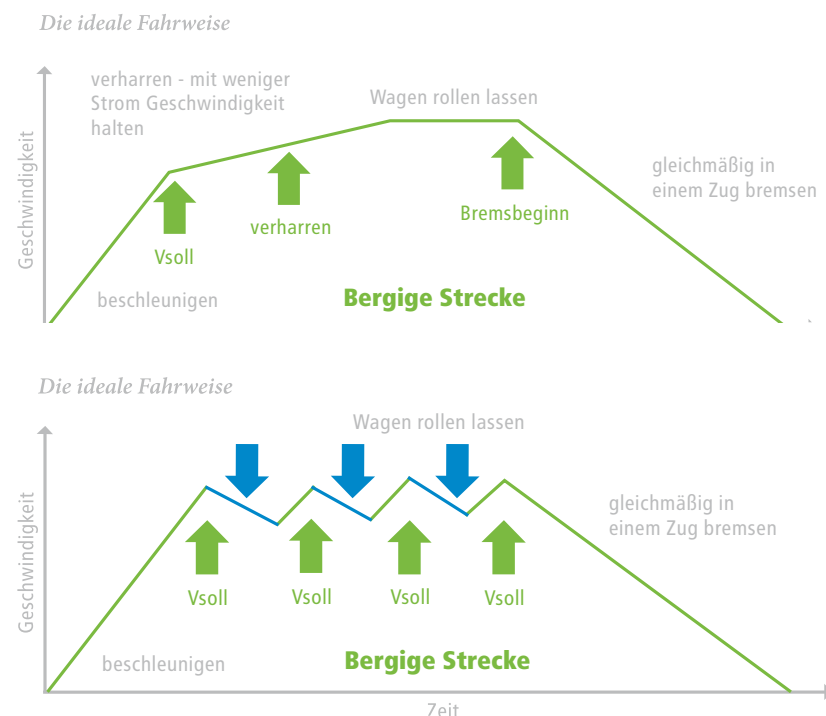
Hat man keine Speicher in den Unterwerken oder im Fahrzeug, gilt: Wenn das Netz nicht aufnahmefähig ist, wird der Bremsstrom vom Fahrzeug über Widerstände vernichtet. Es gibt auch heute noch in einigen Städten Europas Fahrzeuge mit Widerstandssteuerung. Hier sollte immer eine der Strecke und Haftreibung angepasste höchstmögliche Beschleunigung gewählt werden, um die Widerstände schnell abzuschalten (Erläuterung siehe Punkt 3.1). Generell lässt sich sagen, dass die ideale wirtschaftliche Fahrweise am besten auf unabhängigem oder besonderem Bahnkörper realisiert werden kann.

Fährt die Straßenbahn inmitten des Individualverkehrs, treten ständig wechselnde Verkehrssituationen ein, die uns hindern, eine „ideale Fahrkurve“ zu halten. Hier hilft nur eine vorausschauende Fahrweise, um so gut wie möglich das ideale Fahrschema einzuhalten. Man sollte auch an sich selbst denken; denn wer innerlich ausgeglichen ist, hat auch eine ausgeglichene Fahrweise, fährt entspannter und damit stressärmer. Bewusstes Mitdenken in allen Situationen und eine „gute Portion“ Gelassenheit kann hochgerechnet eine Menge Energie einsparen. Und dies nicht nur in kW/h sondern auch beim Nervenkostüm der Fahrer.

2.2 Einflussfaktor Infrastruktur und Topografie

Zu den nicht beeinflussbaren Faktoren bezüglich der Umsetzung einer wirtschaftliche Fahrweise gehören die topografischen Verhältnisse einer Stadt (starke Steigung und Gefällestrecken) und – zumindest aus Fahrerperspektive – der Bau der Gleisanlagen (separater Bahnkörper oder Bahnkörper in Straßenlage).

Bei Straßenbahnnetzen in bergigen Städten gibt es in Steigungen, je nach Fahrzeugsteuerung, zwei verschiedene „ideale“ Fahrlinien. Bei Fahrzeugen mit einer Art Tempomat ist es wirtschaftlich, in einer bestimmten Position



des Sollwertgebers oder Fahrpedals zu „verharren“, um mit wenig Strom die Geschwindigkeit auf dem gewünschten Niveau zu halten. Dies wäre besonders effektiv, wenn vielleicht gleichzeitig ein Fahrzeug bergab fährt und dort ständig leicht bremsen muss.

So könnte der Bremsstrom in vollem Umfang vom bergauf fahrenden Fahrzeug genutzt werden. Voraussetzung hierfür ist natürlich, dass die Fahrzeuge eine Rekuperationsbremse haben. Besitzt das Fahrzeug nur eine einfache Widerstandsbremse, wird der Bremsstrom über die Widerstände vernichtet, wie zum Beispiel bei der Beschleunigersteuerung (Akzelerator = accelerator) im nicht modernisierten Tatra oder in Fahrzeugen mit Vorschaltwiderständen. Bei solchen Fahrzeugen sollte man möglichst schnell und hoch beschleunigen, damit die Widerstände schnell abgeschaltet werden und der Fahrstrom von den Motoren voll genutzt werden kann (siehe Fahrzeugsteuerungen Punkt 3.1).

Welche Fahrlinie auf bergigen Strecken ideal ist, hängt außerdem auch noch von der Streckenlänge, der zugelassenen Geschwindigkeit und von der Fahrzeugsteuerung ab. Deshalb muss man auf straßenbündigen Gleisanlagen vor allem durch vorausschauende Fahrweise und gute Streckenkenntnis versuchen, die für die jeweilige Situation beste Fahrlinie zu finden. Bei U-Bahnen und Stadtbahnen auf Strecken mit Zugsicherung ist es stets leichter, die ideale Fahrkurve zu fahren. Hier „stört“ kein Individualverkehr. Deshalb kann man dort durch eine optimale Fahrplangestaltung Einfluss auf den Energieverbrauch nehmen (zum Beispiel durch die Beachtung von Kreuzungspunkten, Schaltungen von Signalen usw.).

2.3 Einflussfaktor Strecken- und Fahrzeugwiderstände

Die Zugkraft ...

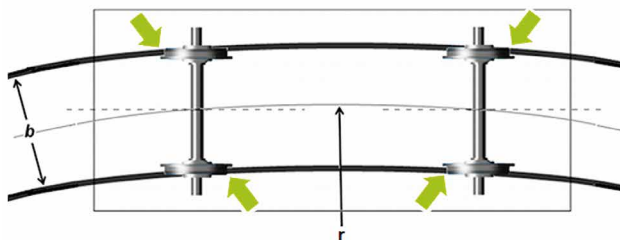
... ist notwendig zur Erzeugung und Erhaltung des Bewegungszustandes.

... leistet Arbeit gegen die Trägheits- und Widerstandskräfte.

... ist abhängig von einem ausreichenden Rad – Schiene – Kraftschluss.



Die Kraft F darf nicht größer werden als die maximale Haftreibungskraft (Rad-Schiene-Kraftschluss), weil sonst die Räder durchdrehen oder gleiten. Grundsätzlich wirken fahrdynamisch verschiedene positive und negative Kräfte und Widerstände auf das Fahrzeug. Der Neigungswiderstand oder auch Neigungskraft kann Energie erhaltend (Gefälle) oder Energie hemmend (Steigung) sein. Neigungen werden in ‰ (Promille) angegeben. Vom Streckenverlauf sind dies die Neigungskraft, der Bogenwiderstand und der Weichenwiderstand.



Unter dem Neigungswiderstand sind die topografischen Verhältnisse zu verstehen. Der Neigungswiderstand wandelt potenzielle in kinetische Energie um und umgekehrt.

Unter dem Bogenwiderstand versteht man das „Anlaufen“ der Radsätze an den Schienenkopf. Dadurch entstehen Gleitbewegungen der Räder, welche durch die unterschiedlichen zurückzulegenden Wege zwischen Bogeninnenseite und Bogenaußenseite verursacht werden. Im Gegensatz zum Kraftfahrzeug sind bei der Straßenbahn die Räder starr auf der Achse befestigt. Der Spurradsatz steht in einem Bogen schräg in der Rille oder drückt gegen den Schienenkopf.

Je geringer der Kurvenradius, desto stärker der Widerstand. So entsteht das typische Quietschen,

was heutzutage durch stationäre Kurvenschmieranlagen oder eingebaute Spurradsatzschmierungen im Fahrzeug gemildert wird.

Der Weichenwiderstand ist gering, so dass er bei Berechnungen vernachlässigt werden kann. Er beschreibt Stöße und Reibvorgänge zwischen Rädern und Radlenkern bzw. Herzstücken der Weiche. Neben den Streckenwiderständen gibt es weitere Kräfte, die vom Fahrzeug selbst ausgehen. Das sind der Anfahrwiderstand, der Luftwiderstand und der Rollwiderstand.

Der Anfahrwiderstand beruht auf der physikalischen Trägheit. Jeder Körper ist bemüht, in seiner Ruhelage zu verharren! Das hat schon Sir Isaac Newton im Jahre 1687 formuliert und als Trägheitsgesetz in eine Formel gebracht. Auf die Fahrdynamik bezogen bedeutet das, dass die vom Motor ausgehende Kraft diverse „innere Widerstände“, wie zum Beispiel Getriebe, verschiedene Lager und Radaufstandskräfte (Rad/Schiene) überwinden muss, damit das Fahrzeug in Bewegung kommt ($\text{Kraft} = \text{Masse} \times \text{Beschleunigung}$).

Unter dem Luftwiderstand versteht man die Kraft, die das Fahrzeug zum Verdrängen der Luft aufbringen muss. Der Luftwiderstand steigt quadratisch zur Geschwindigkeit. Da Straßenbahnen meist keine aerodynamische Form haben, ist ihr Luftwiderstand höher als zum Beispiel bei Hochgeschwindigkeitszügen, wie dem Thalys, ICE oder TGV, welche sehr windschnittig gebaut sind. Bei den relativ niedrigen Geschwindigkeiten, die eine Straßenbahn im Durchschnitt fährt, spielt der Luftwiderstand jedoch keine so große Rolle.

Der letzte der aufgeführten Widerstände ist der Rollwiderstand. Vergleicht man die Räder einer

Der Rollwiderstand von Schienenfahrzeugen ist durch die geringe Auflagefläche der Räder sehr niedrig.

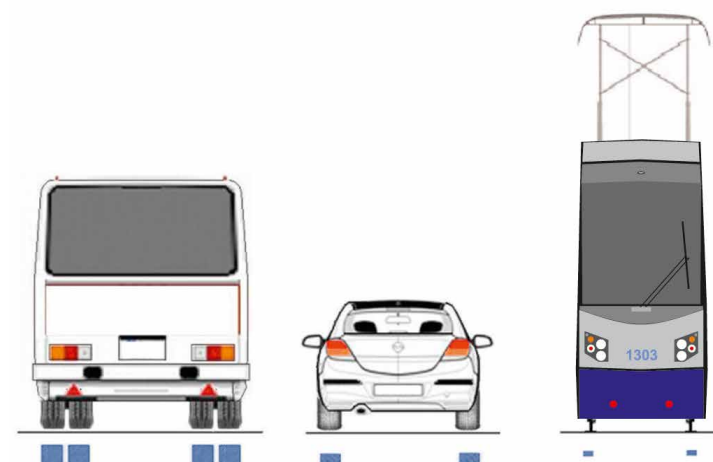
Straßenbahn oder allgemein eines Schienenfahrzeuges, mit denen eines Kraftfahrzeuges, so fällt sofort die geringe Auflagefläche der Räder von Schienenfahrzeugen auf. Diese geringere Fläche hat den Vorteil, dass auch der Rollwiderstand sehr gering ist. Auf einer ebenen Strecke rollt das Schienenfahrzeug nach einer kurzen Beschleunigung mit fast unverminderter Geschwindigkeit sehr weite Strecken weiter. Dies ist einer der wichtigsten Fakten für unsere energiesparende Fahrweise. Ein Lkw-Reifen hingegen berührt die Fahrbahn breitflächig. Würde man einen Lkw im „Leerlauf/Freilauf“ auf einer ebenen Straße rollen lassen, würde er durch die große Rollreibung zwischen Straße und Reifen wesentlich schneller an Geschwindigkeit verlieren als eine Straßenbahn. Auch die aufeinandertreffenden Materialien und ihre Oberflächen beeinflussen den Rollwiderstand.

Der griffige Gummi auf dem rauen Asphalt hingegen haftet gut, was sich beim Bremsen vorteilhaft auswirkt. Bei einer Straßenbahn hingegen führt die geringe Auflagefläche dazu, dass sie schneller ins Gleiten gerät, wenn man die Einflussfaktoren nicht ausreichend beachtet. Neue oder frisch nachbearbeitete Radreifen sind noch leicht schräg und ein neuer Schienenkopf ist etwas gewölbt, was die Rollreibung nochmals verringert, aber auch die Haftreibung reduziert. Hier sind auch die sogenannten „Zwischenmedien“ von großer Bedeutung. Befindet sich Sand auf der Schiene, so wirkt dies hemmend, die Haftreibung zwischen Rad und Schiene ist erhöht, das Fahrzeug fährt gut an und gerät auch beim Bremsen nicht ins Gleiten. Bei neueren Fahrzeugen braucht der

Sand nicht mehr nur durch den Fahrer gegeben werden, sondern wird automatisch von der Regelelektronik ausgelöst, wenn diese unterschiedliche Drehzahlen der Achsen im Triebdrehgestell bzw. Triebfahrzeug feststellt.

Natürlich kann und soll der Fahrer auch bewusst auf die Sandgabe Einfluss nehmen. Sieht man zum Beispiel beim Einfahren in die Haltestelle, dass die Gleise schwarz von frisch vergossenem Bitumen sind, sollte man schon bei Bremsbeginn den Sand betätigen und nicht erst warten bis die Elektronik einsetzt. Frisch gefallenes Laub, Blütenstaub und Ähnliches setzen ebenfalls die Haftreibung stark herab, so dass auch hier das Fahrzeug beim Bremsen schneller ins Gleiten kommen kann und beim Anfahren die Räder durchdrehen können.

Das Ausgleichen der schlechten Haftreibung durch den elektronischen Schleuder- und Gleitschutz hat jedoch den Nachteil, dass dieser immer anspricht, wenn die Achsen minimal unterschiedliche Drehzahlen haben. Das führt auch zur automatischen Sandgabe auf Weichen. Diese „versanden“ dadurch regelrecht, lassen sich dann nicht mehr elektrisch verstellen und müssen häufiger gesäubert werden.



Vergleich des Rollwiderstand: Bus, Kfz und Straßenbahn

Auch über solche Situationen sollte man nachdenken, denn richtiges Handeln spart auch hier Strom. Wenn man die Weiche nicht mehr elektrisch stellen kann, muss man anhalten, die Weiche von Hand stellen und erneut anfahren. Dies stört den Fahrtverlauf. Es kostet Strom beim wiederholten Anfahren, man verliert Zeit, was abermals Stress zur Folge hat. Es ist also immer günstiger, wenn man ohne Fahrtunterbrechung über die Weiche rollt. Um dies zu gewährleisten, ist das Versanden der Weiche zu vermeiden.

Deshalb sollte man unter normalen Umständen (also keine Gefahrensituation) das Fahrzeug in der Regler-Nullstellung über die gesamte Weiche rollen lassen. Im Rollvorgang sandet das Fahrzeug nicht, weil dabei die Räder weder schleudern noch gleiten können. Dies sind nur Kleinigkeiten, doch in der Summe rentiert es sich, auch solche Dinge zu beachten. Bei älteren Fahrzeugen muss der Fahrer durch rechtzeitige manuelle Sandgabe das Schleudern und Gleiten verhindern. Ein Schleudern und Gleiten führt außerdem zu hohem Materialverschleiß an Rädern und Gleisanlagen. Beim Schleudern nutzen sich die Radreifen ab, beim Gleiten entstehen Flachstellen, so dass die Radbandagen nachgedreht werden müssen.

Die Schienen werden in beiden Fällen höher beansprucht. Dies alles verursacht Kosten, die man mit intelligenter, vorausschauender Fahrweise einsparen kann.

2.4 Rolle der Fahrgeschwindigkeit

Die Fahrgeschwindigkeit und der Bremsweg unterliegen einer untrennbaren Wechselwirkung. Bei der Wahl der Fahrgeschwindigkeit sind, neben

den bereits erläuterten Strecken- und Fahrzeugwiderständen, noch mehrere andere Einflussfaktoren zu berücksichtigen.

So zum Beispiel die Sichtverhältnisse, die Besetzung des Fahrzeuges, die Verkehrsbedingungen sowie die persönlichen Fähigkeiten des Fahrers. Die Fahrgeschwindigkeit muss nicht nur so gewählt werden, dass das Fahrzeug ständig beherrscht wird, sondern auch so, dass das Fahrzeug rechtzeitig und gefahrlos in jeder Situation angehalten werden kann.

Der reine Bremsweg wird ebenfalls von mehreren Faktoren beeinflusst. So spielen auch hier die Geschwindigkeit, Schienenverhältnisse, Streckenverhältnisse, Traktion oder Beiwagenbetrieb und die Art der Bremssysteme eine nicht zu unterschätzende Rolle. Der wichtigste dieser Faktoren ist die Geschwindigkeit, denn der Bremsweg verlängert sich quadratisch zur Geschwindigkeit. Das heißt mit einfachen Worten:

Verdoppelt man die Geschwindigkeit, vervierfacht sich der Bremsweg!

Will man den gesamten Anhalteweg betrachten, kommt noch die Reaktionszeit des Fahrers hinzu. Denn der Anhalteweg ist gleich Reaktionsweg plus Bremsweg. Wenn ein Fahrer eine Reaktionszeit von 1 Sekunde hat, legt er bei 50 km/h eine Strecke von 13,9 m zurück. Dies sollte man sich vor Augen halten. Wer nur 3 Sekunden durch irgendetwas abgelenkt und unkonzentriert ist, fährt 41,7 m „blind“ durch den Straßenverkehr.

Verdoppelt man die Geschwindigkeit, vervierfacht sich der Bremsweg.



Das Leipziger Streckennetz umfasst insgesamt 319,1 km.

In Leipzig werden 98 % der zurück gespeisten Energie genutzt!

3 Fahrzeugsteuerung und Energieversorgung

Warum ist die Steuerung von Schienenfahrzeugen so wichtig? Straßenbahnstromnetze sind Gleichstromnetze. Die Chopper-Steuerung ist zum Beispiel eine verlustarme Steuermethode für Elektromotoren (siehe 3.1). Durch die Chopper-Steuerung entsteht ein höherer Wirkungsgrad.

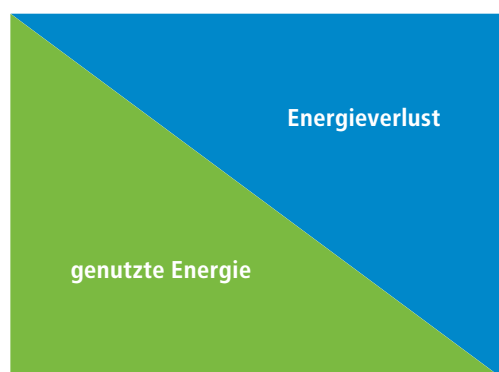
Beim Bremsen kann mittels Rekuperation (Nutzbremsung) Energie zurückgewonnen und ins wieder Netz gespeist werden. Um noch mehr Energie einzusparen wurden von einigen Straßenbahnherstellern Energiespeicher entwickelt, die es möglich machen, Bremsenergie zu speichern, wenn das Netz dafür nicht aufnahmefähig ist. Dazu werden Doppelschicht-Kondensatoren (DSK) oder Batterien in die Fahrzeuge eingebaut.

In der Beschleunigungsphase können die Motoren den Strom aus den Speichern entnehmen und beim Bremsen werden durch Rekuperation dieser wieder gefüllt. Dies ist eine sehr gute Möglichkeit, die Energie zu 100% zu nutzen, doch noch sind die Anschaffungskosten sehr hoch. Ob sich diese Technik wirklich rechnet, hängt auch sehr stark vom vorhandenen Netz, dem gefahrenen Takt und dem Nutzungsgrad der zurück gespeisten Energie ab.



3.1 Fahrzeugsteuerungen

Die unterschiedlichen Fahrzeugsteuerungen sind ebenfalls in die Betrachtung einer wirtschaftlichen Fahrweise einzubeziehen. Wie bereits beim Punkt Infrastruktur und Topografie beschrieben, ist die Widerstandssteuerung die unwirtschaftlichste Steuerung.



Damit der Fahrstrom den Fahrmotoren langsam zugeführt werden kann, fließt er über Widerstände (Vorwiderstände), die nacheinander abgeschaltet werden, bis der volle Fahrstrom an den Motoren anliegt. Früher geschah das per Hand über eine Kurbel oder ein Schaltrad. Dabei wird Strom in den Widerständen in Wärme umgewandelt. Nur etwa 50 % der aufgenommenen Energie werden effektiv genutzt. Häufig müssen noch Lüfter betrieben werden, welche die Widerstände kühlen. Oft wird dann noch eine Feldschwächung eingesetzt, um die Geschwindigkeit zu erhöhen.

Die Feldschwächung oder auch Shunt (Englisch = parallel schalten) genannt, ist ein Widerstand, der nach Abschalten aller Vorwiderstände parallel zum Feld des jeweiligen Fahrmotors zugeschaltet wird (es können auch zwei Widerstände sein, die nacheinander parallel geschaltet werden). Dadurch teilt sich die Stromstärke des Hauptfel-

des am Fahrmotor, während der Ankerstrom in voller Stärke erhalten bleibt. Dies bewirkt eine Schwächung des Magnetfeldes der Hauptfeldspulen, während der Anker noch sein starkes Magnetfeld besitzt. Resultat ist, dass sich nun der Anker schneller drehen kann und damit die Geschwindigkeit erhöht wird.

Widerstandssteuerungen und Feldschwächungen finden heute noch gelegentlich in der Straßenbahntechnik bei Gleichstrommotoren mit Reihenschlusschaltung Anwendung. Fahrzeuge mit Widerstandssteuerung besitzen keine Nutzbremse. So verschwenderisch, wie die Widerstandssteuerung beim Fahren ist, ist sie auch beim Bremsen. Der Bremsstrom wird über Widerstände in Wärme umgewandelt und vernichtet.

Um bei der Modernisierungen von Fahrzeugen die Gleichstrommotoren weiter nutzen zu können, kann man durch eine Choppersteuerung (Englisch: Chopper = Zerhacker) den Fahrzeugen eine völlig neue Qualität verleihen. Bei der Choppersteuerung werden Feld und Anker der Motoren separat angesteuert. Der Chopper zerhackt den Gleichstrom in kleine Impulse und gibt diese direkt an Feld und/oder Anker der Gleichstrommotoren. Eine Verringerung der Erregerspannung führt dabei zur Erhöhung der Drehzahl und eine Verringerung der Ankerspannung führt zur Absenkung der Drehzahl. So kann ganz gleichmäßig und energieeffizient beschleunigt und gebremst werden.

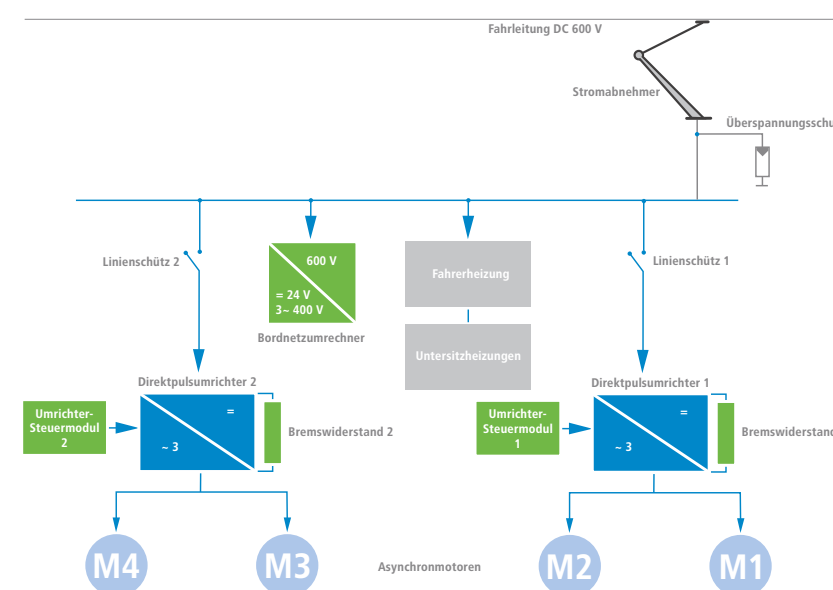
Das Fahrzeug nutzt nur den Strom, den es zugeführt bekommt und für die effiziente Stromaufnahme ist der Fahrer durch seine Fahrweise verantwortlich. Er bestimmt mit der Wahl des richtigen Sollwertes wie hoch und wie lange das Fahrzeug beschleunigt oder gebremst wird. Die generatorische Bremse von Chopperfahrzeugen ist eine Rekuperationsbremse (Nutzbremse).

Die nicht genutzte Bremsenergie wird in das Bahnstromnetz zur Sammelschiene im Unterwerk zurück gespeist. In verschiedenen Fahrzeugen wird, neben der Rückspeisung, die erzeugte Bremsenergie an kalten Tagen auch für Heizgeräte verwendet. Ein weiterer technischer Fortschritt sind Fahrzeuge mit Drehstromasynchronmotoren. Hier wird der Gleichstrom aus der Fahrleitung aufgenommen und über Frequenzumrichter in Drehstrom gewandelt und in entsprechenden Frequenzen am Motor angelegt.

Wie viel Strom von der Fahrleitung aufgenommen wird, bzw. wie hoch die steuernde Frequenz am Drehstrommotor ist, legt, wie immer, der Fahrer fest, indem er mittels Sollwertgeber die gewünschte Beschleunigung und damit die entsprechende Höhe der Stromaufnahme vorgibt. Bei aller Fahrzeugtechnik: der Fahrstil des Fahrers bleibt Dreh- und Angelpunkt für mögliche Energieeinsparungen. Je weiter der Sollwertgeber ausgelegt wird, desto höher ist die Stromaufnahme und umso schneller beschleunigt das Fahrzeug. Beim Bremsen wird der zurück zu speisende Strom im Fahrzeug über Gleichrichter gleichgerichtet.

Drehstrom-asynchronmotoren sind faktisch wartungsfrei. Es sind reine Induktionsmaschinen, die im Englischen auch als „squirrel cage“ (Käfigläufer) bezeichnet werden. Die Steuerung erfolgt meist über DPU (Direktpulsumrichter).

Der Schleuder- und Gleitschutz sind sehr feinstufig eingestellt. Die Software der Fahrzeuge ist optimal an das Fahrzeug und die Infrastruktur der jeweiligen Stadt angepasst. Bei allen Straßenbahnen erfolgt die Stromaufnahme über Stromabnehmer (Pantograf). Zum Schutz vor Blitzschlag ist ein Blitzschutz (Kathodenfallableiter) gleich nach dem Stromabnehmer eingebaut. Auch auf die 600-V-Hilfsstromkreise im Fahrzeug kann der Fahrer, zumindest zum Teil, Einfluss nehmen. Am Verbrauch des Bordnetzumformers kann er nichts ändern, aber ob die Klimaanlage oder die Frischstromheizung im Fahrgastraum ständig eingeschaltet sein muss, kann er gewissenhaft selbst entscheiden.



*Bremsenergie
wird in das
Bahnstromnetz
zurück gespeist.*

Der Fahrer gibt die gewünschte Beschleunigung und damit die Höhe der Stromaufnahme vor.



Direktpulsumrichter (DPU) und IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) sind in der Steuertechnik von Straßenbahnen nicht mehr wegzudenken. Diese Technik arbeitet hochpräzise, sodass optimale Stromaufnahme und Rückspeisung erzielt werden können.

3.2 Energieversorgung

Die Energieversorgung erfolgt über Gleichstromunterwerke. Hier wird der vom Kraftwerk ankommende Strom heruntertransformiert und gleichgerichtet.

Dieser Gleichstrom wird von einer Sammelschiene über Streckenschalter ins Netz gespeist, wo er von den Fahrzeugen genutzt wird. Speist ein Fahrzeug Bremsstrom zurück, geht er wieder auf die Sammelschiene und kann auf allen Strecken, die von der Sammelschiene abgehen, genutzt werden. Außerdem gibt es noch die Verbindung zurück zum Unterwerk über die Schienen, an denen sich Rückleitungskabel befinden.

Durch Einführung von Fahrzeugen mit Rekuperationsbremsen in den Unternehmen und durch die Ausmusterung von Fahrzeugen mit Widerstandssteuerung, sinkt allein schon durch die moderne Technik der gesamte Stromverbrauch stark ab.

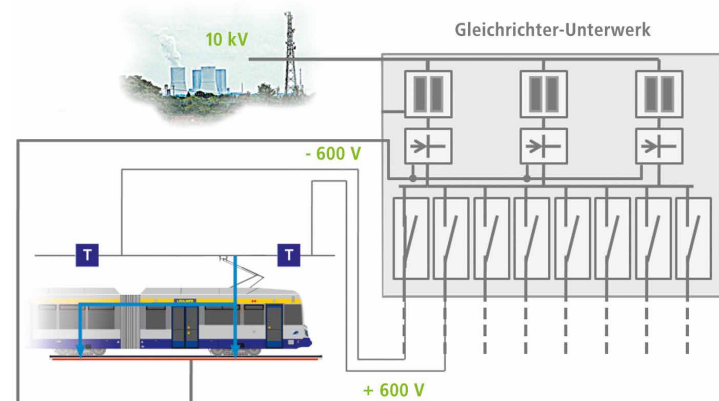
Doch auch hier sind wir wieder beim Fahrer, der durch eine fahrgastfreundliche und überlegte Fahrweise dazu beitragen kann, noch mehr Energie einzusparen.

3.3 Energieverbrauchsmessungen

Die beste Möglichkeit, den Energieverbrauch des einzelnen Fahrers genau zu messen, wäre, auf den Fahrzeugen Messgeräte zu installieren. Dadurch wäre es möglich, ständig Verbrauchswerte zu erhalten. Der Nachteil dieser Methode liegt in den hohen Kosten, die sich nicht jedes Unternehmen leisten kann.

Ein weiteres Hindernis besteht in manchen Ländern im Datenschutz. In einigen Ländern gibt es jedoch gesetzliche Bestimmungen, die eine direkte Überwachung der Verbrauchsmessung von einzelnen Fahrern oder auch ein Herunterbrechen der Daten auf den einzelnen Fahrer verbieten. Es ist bei der Planung Messgeräte einzubauen, vorher zu prüfen, ob die gesetzlichen oder betrieblichen Rahmenbedingungen (z.B. Mitbestimmung Betriebsrat) ein solches Vorgehen erlauben.

Die modernste Technik ist nur so gut, wie der, der sie bedient.



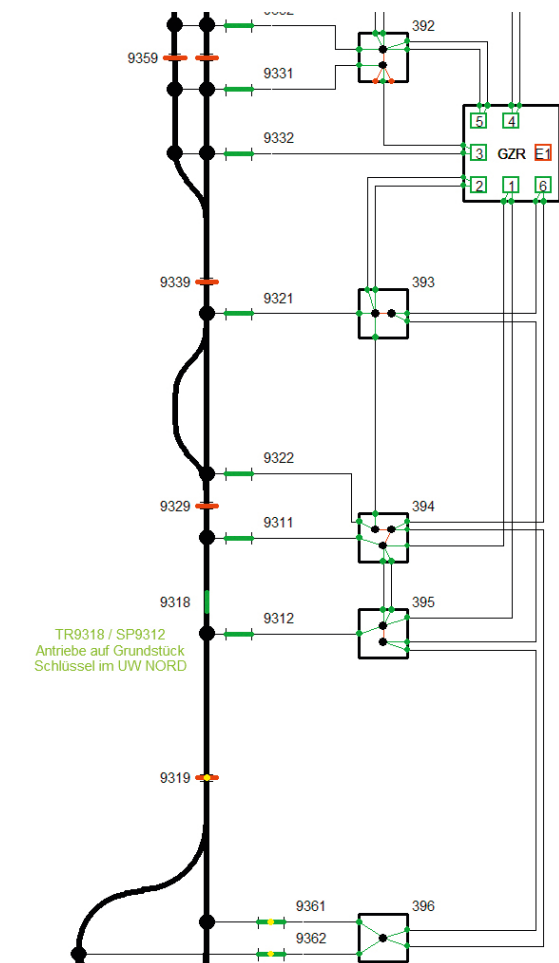
Eine andere, aber sehr aufwendige und personalintensive, Methode ist es eine Messung des Energieverbrauchs über die Speisepunkte in einem Unterwerke durchzuführen. Doch auch hier dürfen in vielen Unternehmen aus Datenschutzgründen die Fahrer nicht namentlich der Fahrt zugeordnet werden, obwohl dies theoretisch möglich wäre.

Diesen Weg ist man zum Beispiel in Leipzig gegangen. Hier wurden in einem Unterwerk, welches unter anderem einen eingleisigen Streckenabschnitt versorgt, zwei Messungen vorgenommen.

Die erste Messung bei Beginn des Projekts mit ungeschultem Fahrpersonal, die zweite etwa ein halbes Jahr später mit geschultem Fahrpersonal. Auf diesem Streckenabschnitt wurden je einen Tag lang die Energiewerte sämtlicher Bahnen gemessen. Dazu musste jede einzelne Fahrt manuell an den beiden Messpunkten (jeweils ein Trennschalter am Anfang und Ende der Strecke) mittels Trigger gemessen werden.

Es wurden jeweils 156 Fahrten gemessen und anschließend ausgewertet. Dieser eingleisige Streckenabschnitt der Messstrecke hat eine Länge von ca. 900 m (Bild rechts).

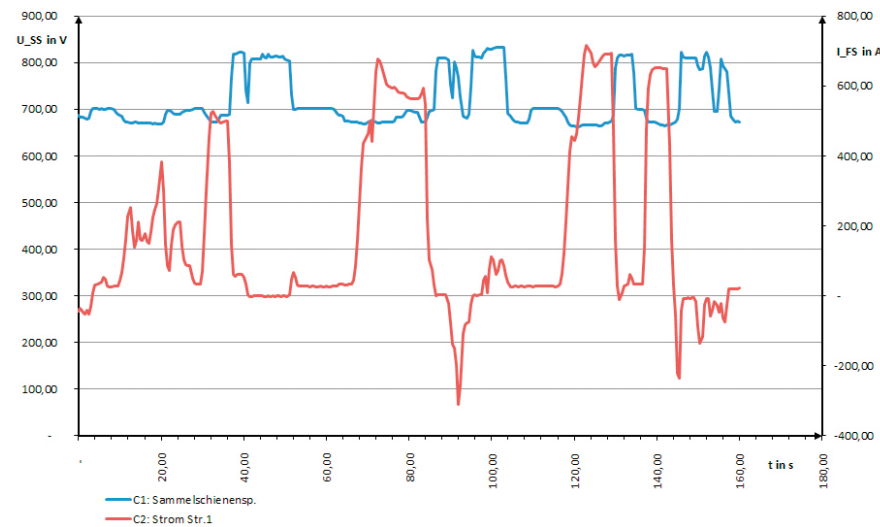
Anhand der dargestellten Diagramme konnten dann Rückschlüsse auf den Energieverbrauch der einzelnen Fahrten gezogen werden. Aufgezeichnet wurden Spannung und Stromstärke, sowie der jeweilige Wagentyp mit Fahrzeugnummer, die Uhrzeit und ob die Fahrt stadtwärts oder landwärts erfolgte.



Auf der Messstrecke wurden Spannungen und Stromstärken aufgezeichnet.



3.4 Auswertung der Messergebnisse – am Beispiel Leipzig



Auf dem Diagramm ist anhand der dargestellten roten Kurve die Betätigung des Sollwertgebers durch den Fahrer zu erkennen. In dem dargestellten Beispiel erkennt man, dass es zu viele unkontrollierte Beschleunigungsvorgänge und nur sehr wenige Rollphasen gibt. Der Sollwertgeber war fast nie in der Nullstellung. Man kann den Eindruck gewinnen, dass der Fahrer mit dem Sollwertgeber „spielt“ und ihn ständig während der Fahrt hin und her bewegt. In den Bereichen, in denen die Stromstärke (rot) in den Minus-Bereich geht, bremst der Fahrer. Steigt die Spannung (blaue Kurve) zur gleichen Zeit an, konnte die Bremsenergie von einem anderen Fahrzeug genutzt werden.

Fazit dieses Fahrbildes: **Der Fahrer dieser Fahrkurve fährt sehr unwirtschaftlich!** Der Energieverbrauch dieser Fahrt beträgt 5,1 kWh/km.

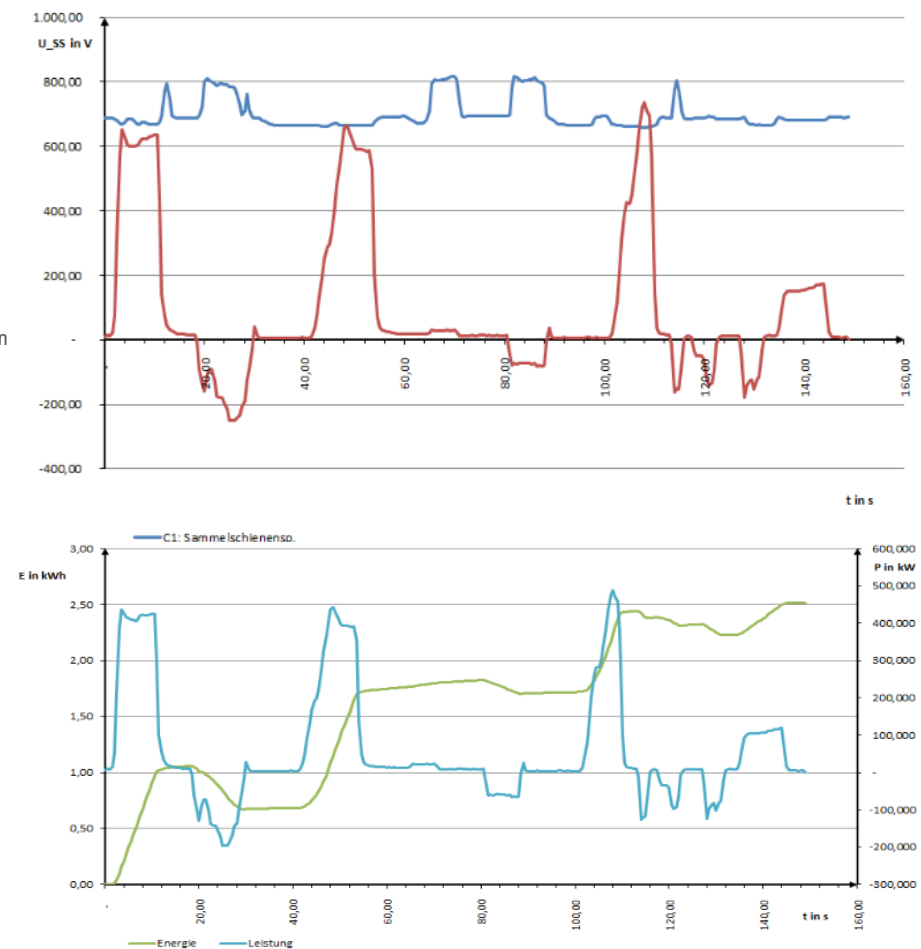
Anhand der ausgewerteten Fahrkurven kann man eine Aussage zur energiesparenden Fahrweise im Unternehmen treffen und berechnen, wie viel Energie eingespart werden könnte, wenn sich alle Fahrer an die Regeln des „eco driving“ halten würden. Allerdings ist der Aufwand durch das Triggern per Hand sehr hoch. Dass es auch anders geht, als in dem oben gezeigten Fahrtdiagramm, wird im nächsten Beispiel deutlich.

Bei gleichen Bedingungen wie im oben gezeigten Diagramm erhält man eine völlig andere Fahrkurve. Deutlich zu sehen ist, dass sauber beschleunigt und der Rollvorgang optimal genutzt wurde. Bei dieser Fahrt wurden nur 2,6 kWh/km verbraucht (unteres Diagramm: Fahrkurve (blau) und Energie-



Null = reines Rollen

Null = reines Rollen

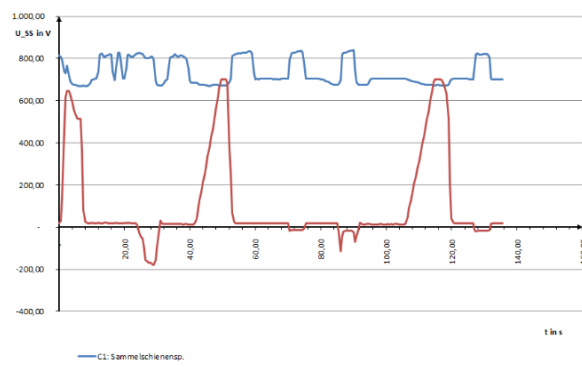


verbrauch mit grüner Linie → links ablesen). Dieser Vergleich zeigt, wie viel Einsparpotential noch vorhanden ist. Die Leipziger Verkehrsbetriebe haben sich ein realistisches Ziel von 3 % Energieeinsparung durch eine wirtschaftliche Fahrweise vorgenommen.

Eine wesentliche Rolle spielt natürlich auch der Wagenpark. Leider ist festzustellen, dass häufig die modernsten Fahrzeuge den höchsten Stromverbrauch haben. Hier spielt eindeutig die Klimaanlage für den Fahrgastraum die größte Rolle. Rund 0,8 kWh pro gemessener Fahrt werden von der Klimaanlage im Fahrgastraum verbraucht. Ein Ausschalten ist zwar technisch möglich, aber praktisch nicht durchführbar, weil der Fahrgastraum keine zu öffnenden Fenster besitzt. Aus Sicht des Kundendienstes wird in der heutigen Zeit von den meisten Fahrgästen eine Klimaanlage gewünscht, so dass der Verkehrsbetrieb das Für und Wider genau abwägen muss.

In Leipzig zeigte der Vergleich der Fahrzeugtypen, dass der T4D-M mit Choppersteuerung und Fußfahrshalter am wenigsten Energie verbraucht.





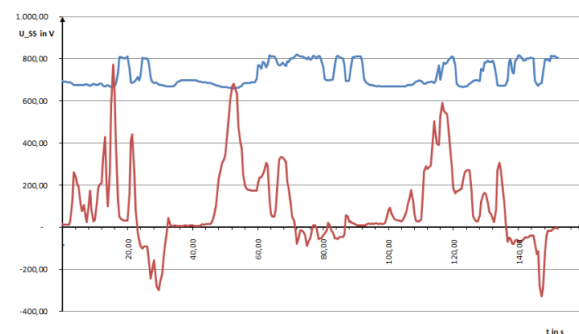
Fahrkurve mit Tatra (Pedalsteuerung)

Auffällig ist, was man schon fast als kurios bezeichnen kann, die extrem unterschiedlichen Fahrkurven zwischen T4D-M (Pedalsteuerung) und den Fahrzeugen mit Sollwertgeber. Die meisten Fahrer zeigen mit Fahr- und Bremspedal einen saubereren Fahrstil. Man beschleunigt und geht bei erreichter Geschwindigkeit vom Pedal, um sich rollen zu lassen.

Ein unsauberes Fahren mit Pedalsteuerung ist so gut wie nicht zu beobachten. Dagegen konnte festgestellt werden, dass die Fahrweise auf allen Fahrzeugen mit Handsteuerung (Sollwertgeber) von rund 40 % der Fahrer nicht optimal ist, was natürlich völlig konträr zur energiesparenden Fahrweise steht. Man sieht an den Fahrkurven, dass der Sollwertgeber (besonders die sehr leicht gängigen Sollwertgeber des XXL (NGT 12) viele Fahrer zum „spielen“ ohne nachzudenken verleitet.

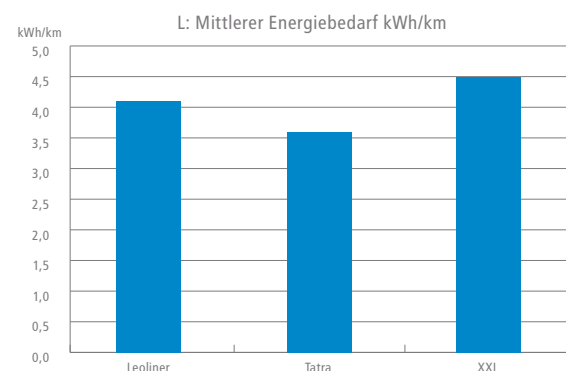
Die Messergebnisse aus Leipzig zeigen, wie wichtig es ist, die Fahrer zu sensibilisieren, eine energiesparende Fahrweise anzuwenden. Das Säulendiagramm zeigt drei Leipziger Fahrzeuge im Vergleich.

T4D-M (Tatra) von CKD Prag (ausschließlich Pedalsteuerung, ohne Klimaanlage für den Fahrgastraum), 1994 modernisiert mit



Fahrkurve mit NGT 12 (Sollwertgeber)

Choppersteuerung, Leoliner NGT 6 (ohne Klimaanlage für den Fahrgastraum) geliefert 2006 von der Heiterblick GmbH, und der NGT 12 (mit Klimaanlage für den Fahrgastraum) geliefert 2006 von Bombardier.



Der Fahrgast nimmt eine vorausschauende und gleichmäßige Fahrt mit hohem Rollanteil positiv wahr.



Die Energie die wir verbrauchen, müssen wir auch bezahlen!



Diese Ergebnisse werfen die folgenden Fragen für Bahnbetriebsbedienstete bezüglich einer wirtschaftlichen Fahrweise auf: Sollte man eventuell doch wieder verstärkt über eine Pedalsteuerung nachdenken? Könnte allein schon die Pedalsteuerung Energie sparen? Siemens beispielsweise baut auf ausdrücklichen Wunsch einiger Besteller aus Belgien den „Avenio“ wieder mit Pedalsteuerung.

Um Nachhaltigkeit zu erzielen, schulen die Leipziger Verkehrsbetriebe in einem praktischen Dienstunterricht ihre Straßenbahnfahrer.

Als kleine Motivation werden Kugelschreiber, Block, Trainingsbroschüre und ein Heftchen mit den wichtigsten Richtlinien zur Störungsbeseitigung für alle Wagentypen ausgegeben. Dazu gibt es einen „Grünen eco driving Führerschein“, mit dem man am Ende des Jahres an einer Verlosung teilnehmen kann. Am Ende des jeweiligen Dienstunterrichtes füllen die Fahrer einen Fragebogen zum Thema aus.

Das Projekt „ACTUATE“ wurde im Straßenbahnbereich auch anderen deutschen Fahrschulen vorgestellt. In drei Workshops konnten die Straßenbahnfahrer ein Training für Multiplikatoren absolvieren. Eco driving soll ein Thema für ganz Europa werden. Denn Energie muss überall gespart werden.



4 Störungen

Eine Verallgemeinerung von Fahrzeugstörungen ist aufgrund der unterschiedlichen Technik der in Europa vorhandenen Fahrzeugtypen nicht möglich. Jede Stadt mit Straßenbahnnetz hat ihre eigenen, nur für sie hergestellten Bahnen. Jede Bahn ist anders und an die Wünsche des Kunden angepasst. Im Straßenbahnsektor wird es nicht möglich sein, eine Vereinheitlichung zu schaffen. Dazu sind die einzelnen Städte und ihre Straßenbahnbetriebe mit den Ansprüchen zu individuell.

Für alle Unternehmen aber gilt bei Störungen der Grundsatz: Sichern – Retten – Melden. Bei Fahrleitungsschäden sind herabhängende Teile stets als spannungsführend zu betrachten. Die Störungsstelle ist abzusichern, um ein Berühren der Teile zu vermeiden. Gleichstrom ist besonders gefährlich, weil man fest kleben bleibt und damit die Berührung tödlich ausgeht, wenn keine sofortige Abschaltung erfolgt. In den Unterwerken schalten zwar im Normalfall die Streckenschalter sofort aus, doch wenn die Fahrleitung keinen Kontakt zur Erde hat, kann sie noch unter Spannung stehen.

Der Mensch, der sie berührt, stellt dann den Kontakt zur Erde her. Spätestens dann fällt der Streckenschalter und schaltet den Abschnitt stromlos. Doch das kann für den Menschen schon zu spät sein. Deshalb immer äußerste Vorsicht im Umgang mit elektrischem Strom. Die geltenden Arbeitsschutzbestimmungen der einzelnen Länder sind gewissenhaft zu beachten und sollten regelmäßig geschult werden.

*Der Fahrer
handelt nach dem
Grundsatz:
SICHERN
RETTEN
MELDEN*



5 Welche Rolle spielt die Straßenbahnfahrschule

Die Straßenbahnfahrschulen sind unter Beachtung aller geltenden gesetzlichen Rahmenbedingungen in den jeweiligen Ländern dafür verantwortlich, die Aus- und Fortbildung der Fahrer in höchstmöglicher Qualität anzubieten.

Um eine gut vorbereitete „eco driving“ Schulung durchzuführen, sollte erst noch einmal auf den vorhandenen Wagenpark eingegangen werden. Wie wird er vom Fahrpersonal beherrscht? Wie sicher sind die Fahrer im Umgang mit Störungen? Was ist der derzeitige Zustand (Höhe des Energieverbrauchs) und was soll mit der Schulung eigentlich erreicht werden?

Bei der Festlegung des Zieles muss darauf geachtet werden, dass es realistisch ist, wie zum Beispiel eine Einsparung von 3%, am Beispiel Leipzig. Man muss sich im Klaren sein, wo man einsparen kann und es muss einen Zeitraum geben, bis wann das Ziel zu erreichen ist. Dieses Ziel muss dann entsprechend kommuniziert werden. Hier bedarf es auch der Unterstützung des Managements eines Betriebes.

Hat man das Ziel erreicht, darf keinesfalls wieder Gleichgültigkeit aufkommen.

*Es gibt nur eins,
was auf Dauer
teurer ist als Bildung:
keine Bildung!*

John F. Kennedy



Sehr wichtig, aber auch schwierig ist es für **Nachhaltigkeit** der erlernten wirtschaftlichen Fahrweise zu sorgen.

Hier können zum Beispiel ein eLearning-Programm, eine wiederholte Schulung oder Fragen als Postkartenquiz helfen. Die Erfahrungen aus dem ACTUATE-Projekt haben gezeigt, dass kleine Präsente, wie ein Kaffeebecher, eine Brotdose, ein Kugelschreiber usw. als kleines Dankeschön und Erinnerungstütze sehr gut von den Fahrern der im Projekt beteiligten Betriebe aufgenommen wurden.

*Bildung ist
die Fähigkeit fast
alles leisten zu können,
ohne die Ruhe und das
Selbstvertrauen
zu verlieren.*

Zum guten Gelingen der Schulung gehört natürlich eine gut ausgerüstete Fahrschule und kompetente Fahrlehrer, die selbst von der Sache überzeugt und sowohl Vorbild als auch Autoritäten sind. Das Ziel einer Straßenbahn-fahrschule sollte es sein, alle beauftragten Arbeiten in höchster Qualität und mit höchsten Standards zu erbringen.

Dazu gehört auch, dass alle Straßenbahn-fahrlehrer selbst sehr gut ausgebildet sind und nach Möglichkeit einen anerkannten Abschluss (Meister, Ausbilder, Techniker) besitzen. Wissensstand und Methodik sollten durch regelmäßige Weiterbildungen stets auf dem neuesten Stand gehalten werden.

Zudem hängt eine gute Schulung neben den vorhandenen Fahrzeugen und der Messtechnik auch von der Ausstattung der Unterrichtsräume ab. So sollte auch moderne Technik, wie

- Laptop
- Beamer
- Whitebord oder Tafel
- Pinnwand
- Flipchart

zur Verfügung stehen.

*Moderne Technik
in den Unterrichtsräumen:
Beamer, Laptop
Whiteboard, Flipchart,
Pinnwand*



6 Eco driving und Fahrplan

Die hier beschriebene wirtschaftliche Fahrweise muss dem Fahrschüler bereits während der Fahrschulausbildung näher gebracht werden. Nach der Ausbildung tragen jedoch viele Faktoren dazu bei, dass Fahrer diese Fahrweise „vergessen“.

Das Stichwort „Fahrplanwirkungsgrad“ lässt bei manchem Fahrer alle guten Vorsätze in Vergessenheit geraten. Um aus betriebswirtschaftlicher Sicht den Fahrplan effektiv zu gestalten, will man möglichst wenige Kurse einsetzen. Weniger Kurse heißt auch weniger Fahrpersonal. Um dies zu erreichen, müssen die Fahrzeiten und die Wendezeiten an den Endstellen möglichst gering gehalten werden.

Kommen dann Langsamfahrstrecken, Verkehrsstaus und Störungen im Dienstverlauf dazu, jagen manche Fahrer unüberlegt der Zeit hinterher. Sie nutzen kaum den Rollvorgang, sondern wechseln nur zwischen maximaler Fahrt und Bremse. Doch wirkt sich eine ökonomische Fahrweise so gravierend auf die Fahrplanlage aus, dass alle guten Vorsätze über Bord geworfen werden müssen? Nein, denn der Fahrer fährt ja nicht langsamer, sondern lediglich ökonomischer. Um eine solche Fahrweise umsetzen zu können, ist es jedoch unabdingbar vorausschauen zu fahren.

Der Fahrer muss erkennen, ob es sich lohnt das Fahrzeug zu beschleunigen oder doch lieber rollen zu lassen. Das ist nicht immer ganz einfach.

Einen Stau im Berufsverkehr kann man nicht wegzaubern, man kann aber versuchen in so einer Situation das Fahrzeug möglichst gleichmäßig und lange rollen zu lassen.

Eine ökonomische Fahrweise ist auch bei niedrigen Geschwindigkeiten möglich. Natürlich sollte das „eco driving“ auch durch technische Komponenten unterstützt werden. Hier ist es sinnvoll, Beeinflussungen von Lichtsignalanlagen so zu gestalten, dass ein Passieren der Ampeln ohne Halt möglich ist. Auch ein Gerät in der Straßenbahn, welches anzeigt, ob der Fahrer gerade wirtschaftlich fährt oder nicht (ähnlich Momentanverbrauch im Auto), kann dem Fahrer eine Hilfestellung sein. Es gibt auch Geräte, die dem Fahrer anzeigen, ob er beschleunigen oder rollen soll. Es ist jedoch nicht immer einfach, hier alle Interessen unter einen Hut zu bringen.

Letztlich muss jedes Unternehmen für sich entscheiden, welches Gesamtpaket an Maßnahmen zur Schulung und Beibehaltung einer wirtschaftlichen Fahrweise es einführen möchte.

*In der
Ruhe liegt
die Kraft!*



7 Das Training

Es gibt zwei Möglichkeiten der „eco driving“-Schulung. Die erste Möglichkeit ist, dass alle Fahrer in der Fahrschule durch die Fahrlehrer selbst geschult werden. Ob dies möglich ist, hängt von der Größe des Unternehmens und der Anzahl der Fahrlehrer, sowie der Auslastung der Fahrschule mit Ausbildungen ab. Das muss jedes Unternehmen ebenso für sich selbst entscheiden.

Die zweite Möglichkeit ist das Auswählen von Mitarbeitern (zum Beispiel Lehrfahrer), die dann in der Fahrschule intensiv und gründlich zu diesem Thema, mit Hinweisen zur Methodik, ausgebildet werden. Dieses dann gut ausgebildete Fahrpersonal gibt danach sein erworbenes Wissen als Multiplikatoren an die Fahrer weiter. Der zu vermittelnde Lehrstoff ist durch die Fahrschule aufzustellen. Dabei sind der Fahrzeugpark, die Topografie, die Verkehrsbedingungen der Stadt und die allgemeine Fahrplanlage bzw. Fahrzeiten (vorhandener Fahrplanwirkungsgrad im Unternehmen) zu berücksichtigen. Deshalb kann das Training nur allgemein beschrieben werden. Das Training mit Multiplikatoren wird in zwei Etappen durchgeführt. Die erste Etappe ist die theoretische Schulung der Multiplikatoren in der Fahrschule. Dazu gehören die Themen:

- ▶ Sicherheit
- ▶ Fahrdynamik
- ▶ Einflüsse auf die Fahrdynamik
- ▶ Fahrzeugtechnik
- ▶ Energieversorgung
- ▶ Arbeitsschutz
- ▶ Störungsbeseitigung
- ▶ Fahrverhalten und Wirtschaftlichkeit
- ▶ Pädagogik und Tipps für die didaktische Vermittlung der Fahrweise

Der praktische Teil besteht dann aus Fahrübung mit der Straßenbahn unter dem Gesichtspunkt des „eco driving“ unter Aufsicht und Anleitung des Fahrlehrers, also die Anwendung der gelernten (wiederholten) Theorie in der Praxis. Der Fahrlehrer erteilt dazu methodische Hinweise. Die nun so ausgebildeten Multiplikatoren schulen das Fahrpersonal in Form einer Mitfahrt auf der Linie. Diese Mitfahrt sollte etwa einen oder zwei komplette Linienumläufe (je nach Linienlänge) dauern. Abschließend können „goldene Regeln“ für eine wirtschaftliche Fahrweise mitgegeben werden.



Dies kann in Form eines kleinen Heftchens erfolgen, in dem auf der Titelseite die goldenen Regeln stehen und im Heftchen selbst Hinweise zur Störungsbeseitigung des vorhandenen Wagenparks aufgelistet sind. Um das Fahrpersonal und die Multiplikatoren zu motivieren, kann beispielsweise eine Art Ranking unter Fahrerteams, die einen oder zwei Multiplikatoren zugeteilt bekommen, veranstaltet werden. Die beste Gruppe des Monats erhält dann mit ihren Multiplikatoren eine kleine Anerkennung. Denn gänzlich ohne Motivatoren wird das Multiplikatoren-Training nicht den gewünschten Erfolg bringen.

Die 6 goldenen Regeln (golden rules):

1. Fahrzeug langsam und gleichmäßig beschleunigen
2. Dabei die Haftreibung beachten
3. Bei Erreichen der gewollten Geschwindigkeit in Nullstellung gehen und das Fahrzeug rollen lassen
4. Immer vorausschauend fahren
5. Rechtzeitig mit der Bremsung beginnen
6. Gleichmäßig bremsen

Um das Thema wirtschaftliche Fahrweise bei den Fahrern dauernd und nachhaltig zu verankern, muss man immer wieder an die Wichtigkeit der Energieeinsparung erinnern. Zum Beispiel in einer kurzen praktischen Schulung für das Fahrpersonal im darauf folgenden Jahr. Die Fahrer absolvieren über das ganze Jahr verteilt in Schulungsterminen zu je 3 Stunden eine praktische Überprüfung durch die Fahrschule. So wird immer in einer Gruppe von 4-5 Personen das Ergebnis der wirtschaftlichen Fahrweise noch einmal kontrolliert.

Die Einflüsse auf den Energieverbrauch sind auch im Dienstunterricht regelmäßig zu wiederholen:

- ▶ Fahrstil
- ▶ Vorausschauende Fahrweise
- ▶ Fahrzeugwartung und -pflege
- ▶ Verkehrsaufkommen
- ▶ Topographie
- ▶ Gleiszustand
- ▶ Fahrzeugtyp
- ▶ Fahrgastaufkommen
- ▶ Motivation



8 Schlusswort

Energie einsparen ist in ganz Europa zum Thema geworden. Viele Städte und Straßenbahnhersteller geben für die Forschung und Entwicklung von Energiesparmaßnahmen und für erneuerbare Energien hohe Summen aus. Doch diese Investition lohnt sich, denn es ist eine Investition in die Zukunft, von der wir alle profitieren. Die Einsparung von Energie spart bares Geld und schützt unsere Umwelt. Wie in den Verkehrsunternehmen, so kann auch zu Hause schon Strom gespart werden. Besitzen Sie umweltfreundliche Elektrogeräte? Machen Sie immer das Licht aus, wenn Sie den Raum verlassen? Läuft Ihr Fernsehgerät, auch wenn Sie gar nicht hinschauen? Prüfen Sie sich doch einmal selbst!

Auszug aus News und Presse im Internet:

Zitat: Wien, Donnerstag, 10. Juli 2014

Pressekontakt: Veronika Gasser (Unternehmen)

„Mehr als 13 Prozent Energieeinsparung
Forschungsprojekt Ecotram erfolgreich abgeschlossen

Bis Mai war die Energiespar-Bim der Wiener Linien im Rahmen des Forschungsprojekts „EcoTram“ auf der Linie 62 unterwegs, mit dem Ziel Energiesparpotenziale bei Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage von Niederflerstraßenbahnen festzustellen. In den vergangenen 10 Monaten sammelte die EcoTram wichtige Daten hinsichtlich des Energieverbrauchs im Fahrgastbetrieb. Rund 4.200 Kilowattstunden beziehungsweise mehr als 13 Prozent Energie sparte die EcoTram beim Lüften, Heizen und Kühlen in diesem Zeitraum ein. Das entspricht in etwa dem Jahresenergieverbrauch eines durchschnittlichen österreichischen Haushalts.“

Mit diesem Artikel aus der Wiener Presse soll aufgezeigt werden, wie wichtig dieses Thema für alle ist und dass jeder seinen Beitrag dazu leisten kann Energie zu sparen und Ressourcen zu schonen. Wir müssen sorgsam mit Energie umgehen und dürfen Verschwendung nicht tolerieren. Von der Erzeugung bis zum Verbraucher ist es ein langer Weg.

Welches Einsparpotenzial in einer wirtschaftlichen Fahrweise von Straßenbahnen steckt, zeigen zum Beispiel die Ergebnisse der Energiemessungen aus Leipzig. Jedes einzelne Unternehmen, welches mit gut geschultem Fahrpersonal Energie einsparen will, kann diese Trainingsbroschüre nutzen, auf seine Stadt bzw. die lokalen Rahmenbedingungen abstimmen und das Trainingskonzept in die Praxis umsetzen.

Mit dieser Trainingsbroschüre, entwickelt unter der Leitung der Leipziger Projektpartner im Projekt ACTUATE, können Sie einen Anfang machen, das Thema Energieeinsparung durch „eco driving“ auch in Ihrem Unternehmen „anzupacken“.

Wir wünschen viel Erfolg dabei!



Herausgeber:



Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB) GmbH
Georgiring 3, 04103 Leipzig
Telefon: (0341) 492-0
Telefax: (0341) 492-1005
E-Mail: info@lvb.de
Internet: www.lvb.de

Konzeption und Redaktion:

Renate Backmann

Stand:

Dezember 2014
Druckfehler vorbehalten.

Projektkontakt:

Rupprecht Consult – Forschung & Beratung GmbH
Dr. Wolfgang Backhaus
Clever Straße 13 – 15
50668 Köln / Germany
Tel.: (221) 60 60 55-19
E-Mail: w.backhaus@rupprecht-consult.eu
Internet: www.rupprecht-consult.eu

Layout, Gestaltung und Umsetzung:

HOFFMANN SCHAFT – Agentur für Werbung
Dufourstraße 4, 04107 Leipzig
Internet: www.hoffmannschaft.de

Fotos:

Joachim Donath, Archiv der LVB

Die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieser Publikation liegt bei den AutorInnen. Sie gibt nicht unbedingt die Meinung der Europäischen Union wieder. Weder die EASME noch die Europäische Kommission übernehmen Verantwortung für jegliche Verwendung der darin enthaltenen Informationen.

Die ACTUATE-Partner:



Das ACTUATE-Konsortium besteht aus fünf Nahverkehrsbetrieben aus Salzburg (Salzburg AG, Österreich), Brno (DPMB, Tschechische Republik, Parma (TEP S.p.A, Italien), Leipzig (LVB, Deutschland) und Eberswalde (BBG, Deutschland), die bereits elektrisch angetriebene Fahrzeuge betreiben, sowie den Leipziger Aus- und Weiterbildungsbetrieben (LAB), dem belgischen Bushersteller Van Hool und trolley:motion, dem internationalen Verein zur Förderung innovativer, abgasfreier E-Bus-Systeme (Österreich). Das Projekt wird von der Rupprecht Consult GmbH (Deutschland) koordiniert.



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union

*Bildung ist die
Fähigkeit, fast alles
leisten zu können,
ohne die Ruhe und
das Selbstvertrauen
zu verlieren!*



.....

www.lvb.de
www.actuate-ecodriving.eu

.....



Co-funded by the Intelligent Energy Europe
Programme of the European Union

actuate

